

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-215058

(43)Date of publication of application : 06.08.1999

(51)Int.Cl. H04B 10/02  
 H04B 10/18  
 G02B 6/10  
 H04J 14/00  
 H04J 14/02

(21)Application number : 10-014313

(71)Applicant : HITACHI CABLE LTD

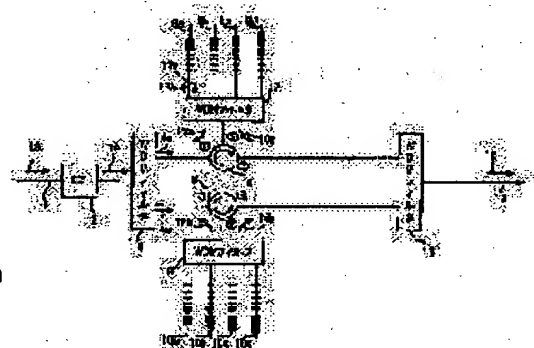
(22)Date of filing : 27.01.1998

(72)Inventor : IMOTO KATSUYUKI

**(54) SUPER-WIDE BAND WAVELENGTH DISPERSION COMPENSATION DEVICE****(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To compensate the wavelength dispersion of a transmission line over a wide band and a dispersion slope.

**SOLUTION:** Signal light obtd. by multiplexing plural different wavelengths is propagated on an input light transmission line 1. To the signal length from the line 1 the primary wavelength dispersion is compensated through a dispersion compensation fiber 2, a wavelength division multiplex (WDM) filter 3 divides this output into a short wavelength (L) band and an long wavelength (H) band, and they are inputted to WDM filters 7 and 9 through light circulators 5 and 6 respectively.  $\lambda 1$  to  $\lambda 8$  are grouped and propagated to chirped grating fibers 8a to 8d, which are connected to the filters 7 and 9, and  $\lambda 9$  to  $\lambda 16$  are grouped and propagated to 10a to 10b. A secondary wavelength dispersion compensation is performed on the respective ways from a port (1) to a port (3) of the circulators 5 and 6 and the wavelength dispersion that occurs, when the wavelength multiplex transmission is performed is compensated.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 11-215058

(43) 公開日 平成11年(1999)8月6日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 4 B 10/02

H 0 4 B 9/00

M

10/18

G 0 2 B 6/10

C

G 0 2 B 6/10

H 0 4 B 9/00

E

H 0 4 J 14/00

14/02

審査請求 未請求 請求項の数 14

O L

(全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平10-14313

(22) 出願日 平成10年(1998)1月27日

(71) 出願人 000005120

日立電線株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目1番2号

(72) 発明者 井本 克之

茨城県土浦市木田余町3550番地 日立電線

株式会社アドバンスリサーチセンタ内

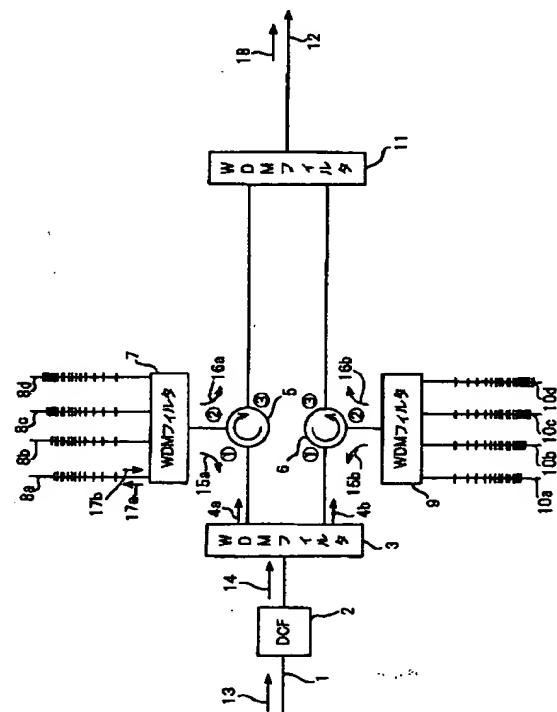
(74) 代理人 弁理士 平田 忠雄

(54) 【発明の名称】 超広帯域波長分散補償デバイス

(57) 【要約】

【課題】 広帯域にわたって伝送路の波長分散及びその分散スロープを補償することが可能な超広帯域波長分散補償デバイスを提供する。

【解決手段】 入力光伝送路 1 には複数の異なる波長を多重化した信号光が伝搬されている。入力光伝送路 1 からの信号光は分散補償ファイバ 2 により第 1 次の波長分散補償がなされ、この出力に対し、WDM フィルタ 3 により L バンドと H バンドに分波され、光サーキュレータ 5, 6 を介して WDM フィルタ 7, 9 に入力される。WDM フィルタ 7, 9 に接続されたチャープトグレーティングファイバ 8 a ~ 8 d には  $\lambda_1 \sim \lambda_8$  が組分けして伝搬され、10 a ~ 10 d には  $\lambda_9 \sim \lambda_{16}$  が組分けして伝搬される。光サーキュレータ 5, 6 のそれぞれのポート ① からポート ③ に至る間に第 2 次の波長分散補償が行なわれ、波長多重伝送する際に生じる波長分散が補償される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の異なる波長が多重化された信号光が伝搬される入力光伝送路と、

前記入力光伝送路からの信号光を長波帯、短波帯等の複数の波長領域の信号光に分波する光分波器と、

前記光分波器で分波した前記複数の波長領域の前記信号光を複数の異なる波長の信号光に分波すると共に分波した前記信号光を波長分散補償した後に合波して出力側へ送出する複数の光合分波器と、

前記複数の光合分波器によって分波した前記信号光を個別に伝搬及び反射させて波長分散補償を施して前記光合分波器へ送出する複数のチャープトグレーティングファイバと、を備えることを特徴とする超広帯域波長分散補償デバイス。

【請求項2】 前記入力光伝送路は、波長1.3 $\mu$ mに零分散波長を持つシングルモードファイバまたは分散シフトファイバであることを特徴とする請求項1記載の超広帯域波長分散補償デバイス。

【請求項3】 前記光分波器は、その前段に分散補償ファイバが設けられていることを特徴とする請求項1記載の超広帯域波長分散補償デバイス。

【請求項4】 前記光分波器から前記複数の光合分波器への信号光の伝搬、及び前記複数の光合分波器から前記出力側への信号光の伝搬を複数の光サーキュレータを用いて行なうことを特徴とする請求項1記載の超広帯域波長分散補償デバイス。

【請求項5】 前記複数の光サーキュレータから出力される信号光を合波する光合波器を備えることを特徴とする請求項1記載の超広帯域波長分散補償デバイス。

【請求項6】 前記光合波器は、前記複数の光合分波器の1つから出力される前記複数の波長領域の1つの波長領域の信号光を通過させる光アイソレータと、該光アイソレータを通過した信号光を第1のポートより入力して第2のポートへ出力し、かつ、前記複数の光合分波器の他の1つから出力される前記複数の波長領域の他の1つの波長領域の信号光を第3のポートから入力して第1のポートへ出力させることによって前記光アイソレータで反射させ、この反射した信号光を第1のポートから入力して第2のポートへ出力させる光サーキュレータとを備えて構成されることを特徴とする請求項5記載の超広帯域波長分散補償デバイス。

【請求項7】 前記光合波器は、その出力側に光アイソレータが接続されていることを特徴とする請求項5または6記載の超広帯域波長分散補償デバイス。

【請求項8】 前記複数の光合分波器の出力側に接続されて前記光合分波器のそれぞれの出力信号光を増幅する複数の希土類元素添加光ファイバと、該希土類元素添加光ファイバのそれぞれに励起光を供給する励起手段とを備えることを特徴とする請求項1記載の超広帯域波長分散補償デバイス。

【請求項9】 前記励起手段は、前記希土類元素添加光ファイバ内の一方向または両方向へ励起光を伝搬させることを特徴とする請求項8記載の超広帯域波長分散補償デバイス。

【請求項10】 前記励起手段は、前記多重化された信号光が波長1.53 $\mu$ m～1.61 $\mu$ mの信号光を含むとき、励起光源として、0.98 $\mu$ m帯、1.48 $\mu$ m帯、またはこの両方の波長帯の励起光を出射する半導体レーザを有することを特徴とする請求項8または9記載の超広帯域波長分散補償デバイス。

【請求項11】 前記チャープトグレーティングファイバは、波長1.53 $\mu$ m帯の信号光を伝搬するものに限る、途中に波長1.53 $\mu$ m帯の信号光を減衰させる光フィルタが挿入されていることを特徴とする請求項1記載の超広帯域波長分散補償デバイス。

【請求項12】 前記入力光伝送路は3端子光サーキュレータの第1の端子に接続され、前記光分波器は前記3端子光サーキュレータの第2の端子に接続され、前記出力側が前記3端子光サーキュレータの第3の端子に接続されていることを特徴とする請求項1記載の超広帯域波長分散補償デバイス。

【請求項13】 前記3端子光サーキュレータの出力端に接続されて該光サーキュレータの出力信号光を増幅する希土類元素添加光ファイバと、前記希土類元素添加光ファイバに励起光を供給する励起手段を備えたことを特徴とする請求項12記載の超広帯域波長分散補償デバイス。

【請求項14】 前記チャープトグレーティングファイバをチャープトグレーティング導波路で構成したことを特徴とする請求項1記載の超広帯域波長分散補償デバイス。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、波長多重通信伝送路の波長分散を広帯域にわたって補償するための超広帯域波長分散補償デバイスに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、1.55 $\mu$ m帯の光ファイバ増幅器の急速な進展に伴い、1.55 $\mu$ m帯の光信号を数波乃至数十波用いた波長多重伝送により、高速かつ大容量の情報を長距離伝送するシステムの研究開発が活発になってきた。このようなシステムの構成方法として、伝送路に零分散特性を1.3 $\mu$ mで持つシングルモード光ファイバを用い、これに1.55 $\mu$ m帯の波長多重化された信号光を数波～数十波伝送させる方法が検討されている。波長多重化された信号光を長距離伝送する場合、問題になるのは波長分散（光の速度が波長により異なること）である。

【0003】 図9は分散状態と伝搬距離の関係を示す。パルス状の入力信号光が光ファイバを伝搬するとき、分

散が零であれば光ファイバから出力される波形に変化は生じない。しかし、分散値が大きくなるにつれて、入力信号光のパルス波形自体が崩れて広がりを持つてくる。このように分散値の大きい光ファイバ内を入力信号光が長距離伝搬すると、その出力信号光が劣化する。そこで、波長分散を補償し、分散値を零にする必要がある。

1. 55  $\mu\text{m}$ 帯での光ファイバの波長分散を補償する方法として、波長多重伝送路に分散補償ファイバを付加する方法が提案されている。その具体例が、特開平8-234255号公報及び特開平9-191290号公報に示されている。

【0004】図10は従来の波長分散補償デバイスの第1例を示す。光分岐結合器(CPL)101は、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ により波長多重されている信号光100-1を入力とし、波長 $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$ の波長毎に分岐して出力する。光分岐結合器101のn個の出力端のそれぞれには、予め設定した波長帯のみを通過させるバンドパスフィルタ(BPF)102-1~102-nが接続されている。バンドパスフィルタ102-1~102-nのそれぞれには、波長分散補償部(DC)103-1~103-nが接続され、これらの出力端には光分岐結合器(CPL)104が接続されている。光分岐結合器104からは、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ を波長多重した信号光100-2が出力される。

【0005】図10の構成では、光分岐結合器101によって波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ が波長毎に分波され、更に、バンドパスフィルタ102-1~102-nのそれぞれによって定められた波長以外の波長成分が除去される。この後、分波後の各波長の光信号毎にそれぞれ独立に波長分散補償部103-1~103-nにより伝送路の波長分散が補償され、各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ のそれぞれに対して全体として零分散になる。波長分散補償部103-1~103-nの出力は、光分岐結合器104によって多重化され、信号光100-2として出力される。

【0006】また、伝送距離を延ばすため、伝送路の途中に光ファイバ増幅器を挿入する方法が考えられており、その一例が特開平8-316912号公報に示されている。これについて以下に説明する。図11は従来の波長分散補償デバイスの第2例を示す。入力光伝送路201には波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ により波長多重されている信号光入力100-1が伝搬されており、その出力端には光増幅器202が接続されている。光増幅器202には、光サーキュレータ203の第1のポート①が接続され、第2のポート②には波長分散補償ファイバ205が接続され、第3のポート③には出力光伝送路204が接続されている。更に、波長分散補償ファイバ205にはチャープグレーティングファイバ(chirped grating fiber)206が接続され、その出力端には無反射終端207が設けられている。

【0007】図11において、波長多重されている信号

光100-1を入力光伝送路201に入力して伝搬させることにより、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ のそれぞれの信号光のパワー減衰と、各波長の信号光の波長分散値を補うことができる。すなわち、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の各信号光のパワー減衰は、光増幅器202による信号光の増幅によって補われる。また、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の各波長の信号光の波長分散値は、光増幅器202の出力信号光を光サーキュレータ203の第1のポート①に入射させ、第2のポート②から取り出し、第2のポート②に接続された波長分散補償ファイバ205とチャープグレーティングファイバ206内を信号光208として伝搬させ、チャープグレーティングファイバ206内で各波長毎に信号光を反射させた後、波長分散補償デバイス205内を信号光209として逆方向に伝搬させる。この逆方向に伝搬した信号光209は、光サーキュレータ203の第2のポート②から第3のポート③へ伝搬し、更に、出力光伝送路4内を信号光210として伝搬することで波長分散補償と高出力化が図られ、信号光出力100-2が得られる。

【0008】図12は従来の波長分散補償デバイスの第3例を示す。図12の構成は、図11の構成において、光増幅器202を光サーキュレータ203と出力光伝送路204の間に移設した構成にしている。その他の構成に変更はないので、重複する説明は省略する。入力光伝送路201からの波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ により波長多重された信号光入力100-1は、光サーキュレータ203を通過して波長分散補償ファイバ205に伝搬する。波長分散補償ファイバ205によって波長分散補償が行われた後、チャープグレーティングファイバ206で反射し、この反射信号光は光サーキュレータ203の第2のポート②→第3のポート③の経路で光増幅器202に到達し、ここで光増幅された後、出力光伝送路204を通過して信号光出力100-2として取り出される。

#### 【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来の波長分散補償デバイスによると、以下に列举する問題がある。

(1) 図10の構成の場合、波長分散補償部103-1~103-nには通過型の光部品、例えば、分散補償ファイバが用いられるが、その長さが数km以上に及ぶため、光損失が大きい、サイズが大きい、低コスト化が難しい、等の問題がある。

(2) また、入力部に波長多重されている信号光出力をn分配するための光分岐結合器101を必要とし、更に、出力部にn分波された信号光を合波させるための光分岐結合器104を必要とするため、これら光分岐結合器での分岐損失により、波長多重された信号光が減衰し、伝送距離に制限を受けるという問題がある。

(3) 更に、多数の光部品を使用しているため、各々の光部品間の接続損失が問題になるほか、それぞれの接続部からの反射光がそれぞれのチャンネル間のクロストレー

クを劣化させるという問題がある。

(4) 図11及び図12の構成の場合、独立した機能を有する光増幅器と波長分散補償部が設けられ、それらがカスケード接続されているため、光部品点数が多くなり、コストアップの要因になる。更に、光部品点数が多くなるのに伴って伝送損失が増え、小型化が難しいという問題がある。

(5) (4)のような光部品点数の増大は、それぞれの光部品との間の接続損失を増大させ、更に、偏光依存性損失をも増大させてしまう。

(6) 更に、図11及び図12の構成の大きな問題は、波長多重された信号光の波長帯域が広がるにつれ、チャープグレーティングファイバ206の波長分散特性を高精度にすることが困難なため、再現性良く製造することが難しく、環境変化によるチャープグレーティング特性の信頼性も低い。

【0010】したがって、本発明の目的は、広帯域にわたって伝送路の波長分散及びその分散スロープを補償することが可能な超広帯域波長分散補償デバイスを提供することにある。更に、本発明の他の目的は、波長分散補償された信号光の増幅を一体化回路で構成することのできる超広帯域波長分散補償デバイスを提供することにある。

#### 【0011】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記の目的を達成するため、複数の異なる波長が多重化された信号光が伝搬される入力光伝送路と、前記入力光伝送路からの信号光を長波帯、短波帯等の複数の波長領域の信号光に分波する光分波器と、前記光分波器で分波した前記複数の波長領域の前記信号光を複数の異なる波長の信号光に分波すると共に分波した前記信号光を波長分散補償した後、合波して出力側へ送出する複数の光合分波器と、前記複数の光合分波器によって分波した前記信号光を個別に伝搬及び反射させて波長分散補償を施して前記光合分波器へ送出する複数のチャープグレーティングファイバと、を備えることを特徴とする超広帯域波長分散補償デバイスを提供する。

#### 【0012】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。本発明の各実施の形態においては、波長帯として、1.53 $\mu\text{m}$ ～1.56 $\mu\text{m}$ の短波長帯（以下、「Lバンド」という）と、1.57 $\mu\text{m}$ ～1.61 $\mu\text{m}$ の長波長帯（以下、「Hバンド」という）を用い、少なくとも8波以上が波長多重伝送されている光伝送路（例えば、シングルモードファイバ又は分散シフトファイバ）の波長分散を補償し、かつ、それらの分散スロープ（各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ に対して波長分散値が異なる特性）を制御し、上記波長帯でのそれぞれの波長の信号光の分散値をほぼ0にすることをめざしている。

【0013】図1は本発明に係る超広帯域波長分散補償

デバイスの第1の実施の形態を示す。信号光13が伝搬されている入力光伝送路1には、分散補償ファイバ(DCF)2が接続され、この分散補償ファイバ2にWDMフィルタ(波長分割多重フィルタ: Wavelength Division Multiplexing filter)3が接続されている。WDMフィルタ3の信号光4a(短波長帯)を出力する端部には光サーキュレータ5のポート①が接続され、WDMフィルタ3(光分波器)の信号光4b(長波長帯)を出力する端部には光サーキュレータ6のポート①が接続されている。光サーキュレータ5のポート②にはWDMフィルタ7(光合分波器)が接続され、その4つの出力端のそれぞれにはチャープグレーティングファイバ8a, 8b, 8c, 8dが接続されている。同様に、光サーキュレータ6のポート②にはWDMフィルタ9(光合分波器)が接続され、その4つの出力端のそれぞれにはチャープグレーティングファイバ10a, 10b, 10c, 10dが接続されている。光サーキュレータ5, 6のポート③のそれぞれには、WDMフィルタ11(光合波器)が接続され、その出力端には出力光伝送路12が接続されている。

【0014】入力光伝送路1には、例えば、波長1.3 $\mu\text{m}$ において零分散波長になるシングルモードファイバ(または、分散シフトファイバ)が用いられ、その長さは、数十kmに及んでいる。波長多重されている信号光13は上記したようにLバンド(波長領域)とHバンドで構成されている。例えば、Lバンドでは0.8nm間隔に8波の信号光(波長 $\lambda_1 \sim \lambda_8$ )を含み、Hバンドは0.8nm間隔に8波の信号光(波長 $\lambda_9 \sim \lambda_{16}$ )を含んでいる。そして、これらの信号光は、例えば、10Gb/sの伝送速度で伝搬している。WDMフィルタ7, 9は、共に1入力4出力の光合分波回路である。

【0015】次に、図1の構成の超広帯域波長分散補償デバイスの動作について説明する。入力光伝送路1を伝搬してきた信号光13は分散補償ファイバ2に入力され、分散補償が行なわれる。分散補償ファイバ2は、入力光伝送路1内を波長 $\lambda_1 \sim \lambda_{16}$ (ただし、 $\lambda_1 < \lambda_{16}$ )で波長多重されている信号光13が伝搬することにより生じる分散値( $\lambda_1$ の場合は $D_1$ 、 $\lambda_{16}$ の場合は $D_{16}$ 、 $D_1 < D_{16}$ )と、ほぼ逆符号の値を持った分散値を有し、例えば、 $-D_1$ の分散値を持つようにファイバ長が定められている。分散補償ファイバ2より出力された信号光14は、WDMフィルタ3に入力される。このWDMフィルタ3とWDMフィルタ11との間で、上記それぞれの波長での分散偏差値が補償される。WDMフィルタ3は上記波長多重された信号光 $\lambda_1 \sim \lambda_{16}$ を2つの波長帯、すなわち、 $\lambda_1 \sim \lambda_8$ と $\lambda_9 \sim \lambda_{16}$ に分波する。波長 $\lambda_1 \sim \lambda_8$ は信号光4aとして分波され、波長 $\lambda_9 \sim \lambda_{16}$ は信号光4bとして分波され、それぞれ光サーキュレータ5, 6の各ポート①に入力される。

【0016】光サーキュレータ5は、そのポート①に入

力された信号光4aを信号光15aとしてポート②へ出力させ、WDMフィルタ7へ伝搬させる。そして、WDMフィルタ7からの信号光16aをポート②からポート③へ出力させる。同様に、光サーキュレータ6は、そのポート①に入力された信号光4bを信号光15bとしてポート②へ出力させ、WDMフィルタ9へ伝搬させる。そして、WDMフィルタ9からの信号光16bをポート②からポート③へ出力させる。

【0017】WDMフィルタ7は、波長多重されている信号光15aを4つの波長帯、すなわち、 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ と $\lambda_4$ 、 $\lambda_5$ と $\lambda_6$ 、 $\lambda_7$ と $\lambda_8$ に分波して出力する。具体的には、 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ がチャープトグレーティングファイバ8aに、 $\lambda_3$ と $\lambda_4$ がチャープトグレーティングファイバ8bに、 $\lambda_5$ と $\lambda_6$ がチャープトグレーティングファイバ8cに、 $\lambda_7$ と $\lambda_8$ がチャープトグレーティングファイバ8dに出力される。同様に、WDMフィルタ9は、波長多重されている信号光15bを4つの波長帯、すなわち、 $\lambda_9$ と $\lambda_{10}$ 、 $\lambda_{11}$ と $\lambda_{12}$ 、 $\lambda_{13}$ と $\lambda_{14}$ 、 $\lambda_{15}$ と $\lambda_{16}$ に分波して出力する。 $\lambda_9$ と $\lambda_{10}$ はチャープトグレーティングファイバ10aに、 $\lambda_{11}$ と $\lambda_{12}$ がチャープトグレーティングファイバ10bに、 $\lambda_{13}$ と $\lambda_{14}$ がチャープトグレーティングファイバ10cに、 $\lambda_{15}$ と $\lambda_{16}$ がチャープトグレーティングファイバ10dに出力される。

【0018】これらチャープトグレーティングファイバ8a～8d、10a～10dは、分散補償ファイバ2で補償しきれなかった分散補償及び分散スロープ補償を行なうための波長分散補償回路である。例えば、チャープトグレーティングファイバ8aは、その中を伝搬する波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の信号光の波長分散を補償するものであり、波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の信号光は17aとしてチャープトグレーティングファイバ8a内を伝搬し、波長 $\lambda_1$ の信号光はチャープトグレーティングファイバ8a内の更に奥の方まで伝搬した後で反射する。また、波長 $\lambda_2$ の信号光はチャープトグレーティングファイバ8a内の波長 $\lambda_1$ の反射位置より少し手前で反射し、それぞれ信号光17bとして戻り、WDMフィルタ7で合波される。

【0019】チャープトグレーティングファイバ8b内には波長 $\lambda_3$ と $\lambda_4$ の信号光がそれぞれ伝搬し、波長 $\lambda_4$ は手前の方で、波長 $\lambda_3$ は波長 $\lambda_4$ より更に奥の方まで伝搬してそれぞれ反射した後、再びWDMフィルタ7へ戻り、ここで合波される。チャープトグレーティングファイバ8c内には波長 $\lambda_5$ と $\lambda_6$ の信号光がそれぞれ伝搬し、波長 $\lambda_5$ は手前の方で、波長 $\lambda_6$ は更に奥の方でそれぞれ反射し、再びWDMフィルタ7に戻って合波される。更に、チャープトグレーティングファイバ8d内には波長 $\lambda_7$ と $\lambda_8$ の信号光がそれぞれ伝搬し、波長 $\lambda_8$ は手前の方で、波長 $\lambda_7$ はそれより奥の方でそれぞれ反射し、再びWDMフィルタ7へ戻り、WDMフィルタ7で合波される。WDMフィルタ7では、それぞれの

波長の信号光が伝搬遅延を与えられることにより波長分散が補償される。チャープトグレーティングファイバ10a、10b、10c、10dにおいても、WDMフィルタ7側と同様に入力された波長の信号光が伝搬し、所定の位置で反射した後、再びWDMフィルタ9に戻って合波され、それぞれの波長の信号光が伝搬遅延を与えられることにより波長分散が補償される。

【0020】WDMフィルタ7、9で分散補償された信号光は、WDMフィルタ7、9内を逆方向に信号光16a、16bとして伝搬し、光サーキュレータ5、6の各ポート②からポート③を通してWDMフィルタ11へ出力される。WDMフィルタ11は、Lバンドの分散補償された信号光16aとHバンドの分散補償された信号光16bとを合波し、分散補償された信号光19として出力光伝送路12へ出力する。

【0021】波長多重された信号光13は、入力光伝送路1内を数十kmの長さにおわたって伝送されるため、伝送距離が長くなるほど波長分散値が大きくなり、かつ、分散スロープを持つことになる。波長分散値はできるだけ0に近づけ、かつ、分散スロープを小さく、すなわち、入力伝送路1内を伝搬する信号光の伝送歪みをできるだけ小さくする必要がある。

【0022】上記実施の形態によれば、波長多重された信号光13が入力光伝送路1内を伝搬することによって生じたそれぞれの波長の分散値( $D_1 \sim D_{16}$ )は、まず、分散補償ファイバ2で $-D_1$ だけ補償しておき、 $D_2 - D_1$ 、 $D_3 - D_1$ 、 $D_4 - D_1$ 、 $\dots$ 、 $D_{16} - D_1$ までの波長分散値は、WDMフィルタ3とWDMフィルタ11の間で補償するようにしたため、波長分散値及び分散スロープを補償することが可能になった。この結果、出力光伝送路12側には、波長 $\lambda_1$ から $\lambda_{16}$ までの信号光の分散はほぼ0になり、かつ、相互間で波長分散値がほぼ等しくなるように補償された信号光18を得ることができる。

【0023】図2は本発明に係る超広帯域波長分散補償デバイスの第2の実施の形態を示す。図1の構成と相違するところは、次の3点である。まず、第1の相違点は、WDMフィルタ7、9のそれぞれに1入力8出力の光合分波器を用いている。すなわち、WDMフィルタ7は波長 $\lambda_1$ から $\lambda_8$ の信号光を8つの出力端にそれぞれ分波し、それぞれの出力端に接続されたチャープトグレーティングファイバ8a、8b、8c、8d、8e、8f、8g、8h内に伝搬させている。同様に、WDMフィルタ9は波長 $\lambda_9$ から $\lambda_{16}$ の信号光を8つの出力端にそれぞれ分波し、それぞれの出力端に接続されたチャープトグレーティングファイバ10a、10b、10c、10d、10e、10f、10g、10h内に伝搬させている。

【0024】第2の相違点は、チャープトグレーティングファイバ8aは、波長 $\lambda_1$ の信号光の分散を補償する

ためのものであり、同様に、チャープトグレーティングファイバ10aは、波長 $\lambda_0$ の信号光の分散を補償するために用いられる。これ以外のチャープトグレーティングファイバ8b~8h, 10b~10hもそれぞれ1つの波長の信号光の分散を補償するために用いられる。

【0025】第3の相違点は、図1のWDMフィルタ11に代え、光アイソレータ20と光サーキュレータ21を用いて光合波器を構成したところにある。すなわち、分散補償されたLバンドの信号光16aは、光アイソレータ20を通して信号光22として光サーキュレータ21のポート①に入射し、そのポート②を通して出力光伝送路12へ導かれる。他方、分散補償されたHバンドの信号光16bは、光サーキュレータ21のポート③へ入射し、そのポート①に導かれ、信号光23として光アイソレータ20へ伝搬する。そして、この光アイソレータ20で反射されて信号光24として光サーキュレータ21のポート①に入射し、そのポート②を通して出力光伝送路12へ出力される。

【0026】図2の構成の特徴は、出力側にWDMフィルタ11に代え、光アイソレータ20と光サーキュレータ21を用いた結果、Lバンドの信号光16aとHバンドの信号光16bとの光アイソレーション特性を大きくとることができ、互いの光クロストーク特性を良好に保てることにある。また、光サーキュレータ21を用いているため、出力光伝送路12側からの反射戻り光を阻止することもできる。

【0027】図3は本発明に係る超広帯域波長分散補償デバイスの第3の実施の形態を示す。本実施の形態は、超広帯域の波長分散補償デバイスと増幅デバイスを一体化して増幅機能を持たせ、かつ、低コスト化が図れるようにした光デバイスの実現を目標にしている。図3においては、図1及び図2と同一または同一機能を有するものには同一引用数字を用いたので、ここでは重複する説明を省略する。

【0028】図3においては、図1の光サーキュレータ5, 6とWDMフィルタ11の間の伝送路にEr（希土類元素）添加光ファイバ31, 32を用いている。Er添加光ファイバ31の入力側寄りにはWDMカプラ33が結合され、Er添加光ファイバ32の両側にはWDMカプラ34, 35が結合されている。WDMカプラ33には励起光源36が接続され、WDMカプラ34, 35には励起光源37, 38が接続されている。励起光源36には波長1.48 $\mu$ m帯或いは0.98 $\mu$ m帯の半導体レーザが用いられ、励起光源37, 38には波長1.48 $\mu$ m帯或いは0.98 $\mu$ m帯の半導体レーザが用いられる。更に、出力光伝送路12の途中には、出力側からの光入射を防止するために、光アイソレータ20が設置されている。

【0029】すでに分散補償されたLバンドの信号光16aは、光サーキュレータ5からEr添加光ファイバ3

1に入力される。Er添加光ファイバ31には、励起光源36からの励起光がWDMカプラ33を通して入力される。この励起光をEr添加光ファイバ31に伝搬させて反転分布状態を形成すると、信号光16aは、例えば、数千倍から約10,000倍に増幅され、増幅された信号光がWDMフィルタ11の一方の入力端に入力される。更に、Er添加光ファイバ32にも励起光源37, 38からの励起光がWDMカプラ34, 35を通して入力される。その結果、信号光16bは、例えば、数千倍から約10,000倍に増幅され、この増幅された信号光がWDMフィルタ11の他方の入力端に入力される。WDMフィルタ11は、増幅された2つのバンドの信号光を合波して光アイソレータ20へ送出する。光アイソレータ20を通った上記2つのバンドの信号光は、出力光伝送路12を信号光18として伝搬する。光アイソレータ20は、出力光伝送路12からの信号光の反射戻り光を抑圧する機能を持っている。

【0030】Er添加光ファイバ31への励起光は、Er添加光ファイバ31の入力側のみからではなく、出力側から励起してもよい。また、励起光源36のほかにも1台を追加して両側から励起する構成にしてもよい。図4は本発明に係る超広帯域波長分散補償デバイスの第4の実施の形態を示す。本実施の形態における基本構成は図3と同一であり、チャープトグレーティングファイバ8aに光フィルタ41を設け、波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7, \lambda_8$ からなるLバンドの信号光の増幅度を一様にするようにしたところに特徴がある。すなわち、波長 $\lambda_1$ の1.53 $\mu$ m帯の利得ピークを抑えるために、チャープトグレーティングファイバ8aの途中に光フィルタ41を設け、1.53 $\mu$ m帯の信号光を減衰させている。本実施の形態においては、チャープトグレーティングファイバ8aを伝搬する波長 $\lambda_1$ 及び $\lambda_2$ の信号光のうち、主に波長 $\lambda_1$ （＝1.53 $\mu$ m）の信号光の一部を減衰させるようにしている。これにより、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_{16}$ までの信号光の増幅度をほぼ一様にする事ができる。

【0031】LバンドとHバンドとの増幅度の調節は、Er添加光ファイバ31, 32の長さ、Er添加量、励起光源36, 37, 38の光パワー等を適宜設定することにより可能である。Er添加光ファイバ31, 32には、Erの添加のほか、Alが共添加された石英系ファイバまたはフッ化物系ファイバを用いることができる。或いは、Alが共添加された石英系ファイバとフッ化物系ファイバを組み合わせたファイバを用いることもできる。

【0032】図4の実施の形態によれば、図3の実施の形態と同様に、波長分散補償に加え、信号光の増幅を行なうことが可能になる。図5は本発明に係る超広帯域波長分散補償デバイスの第5の実施の形態を示す。本実施の形態は、図4で用いたEr添加光ファイバ31, 3



2、WDMカプラ33、34、35、励起光源36、37、38を図2の構成に追加した構成になっている。すなわち、光サーキュレータ5と光アイソレータ20との間、及び光サーキュレータ6と光サーキュレータ21との間に、それぞれEr添加光ファイバ131、32を接続し、これらのEr添加光ファイバ131、32に励起光源36、37、38からの励起光をそれぞれ伝搬させ、信号光16a、16bのそれぞれを独立に増幅できるようにしている。

【0033】図5の実施の形態によれば、波長分散補償に加え、信号光の増幅も行なうことができる。図6は本発明に係る超広帯域波長分散補償デバイスの第6の実施の形態を示す。図6においては、図1に用いたと同一であるものには同一引用数字を用いている。入力光伝送路1には光サーキュレータ61のポート①が接続され、そのポート②には分散補償ファイバ2が接続され、ポート③には出力光伝送路12が接続されている。分散補償ファイバ2にはWDMフィルタ3が接続され、このWDMフィルタ3にはWDMフィルタ7、9が接続されている。WDMフィルタ7にはチャープトグレーティングファイバ8a～8dが接続され、WDMフィルタ9にはチャープトグレーティングファイバ10a～10dが接続されている。

【0034】図6においては、入力光伝送路1を伝搬してきた信号光13（波長 $\lambda_1 \sim \lambda_{16}$ からなる）を光サーキュレータ61のポート①に入力させ、これをポート②から分散補償ファイバ2へ信号光62として出力し、また、分散補償ファイバ2からの信号光63をポート③へ信号光12として出力する。入力光伝送路1を伝搬してきたことによって生じる波長分散値（ $D_1 \sim D_{16}$ ）の約1/2の分散（約、 $-D_1/2$ ）が、分散補償ファイバ2によって補償される。この分散補償ファイバ2を通った信号光64は光分波器であるWDMフィルタ3に入射し、このWDMフィルタ3で2つの波長帯、つまりLバンドの信号光15aとHバンドの信号光15bに分離される。Lバンドの信号光15a（波長 $\lambda_1 \sim \lambda_8$ の信号光）は、WDMフィルタ7に入射する。また、Hバンドの信号光15b（波長 $\lambda_9 \sim \lambda_{16}$ の信号光）は、WDMフィルタ9に入射する。

【0035】WDMフィルタ7に入射した波長 $\lambda_1 \sim \lambda_8$ から成る8つの波長のそれぞれは4つの出力端に分波され、それぞれの出力端に接続されたチャープトグレーティングファイバ8a～8dを伝搬する。例えば、チャープトグレーティングファイバ8aには波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の信号光が伝搬し、波長 $\lambda_2$ の信号光はチャープトグレーティングファイバ8aの手前で反射して戻り、波長 $\lambda_1$ の信号光は $\lambda_2$ の反射位置より奥の方で反射して戻り、再びWDMフィルタ7の出力端へ達し、合波されて信号光16aとして伝搬する。同様に、波長 $\lambda_4$ と $\lambda_5$ 、 $\lambda_7$ と $\lambda_8$ の信号光のそれぞれもチャープトグ

レーティングファイバ8b、8c、8dを伝搬し、所定の位置で反射して戻り、WDMフィルタ7で合波され、信号光16aとして伝搬し、更に、WDMフィルタ3で合波されて信号光65として伝搬する。また、波長 $\lambda_9 \sim \lambda_{16}$ のHバンドの信号光15bもWDMフィルタ9で4つの波長帯 $\lambda_9$ と $\lambda_{10}$ 、 $\lambda_{13}$ と $\lambda_{14}$ 、 $\lambda_{15}$ と $\lambda_{16}$ のように分波され、それぞれのチャープトグレーティングファイバ10a、10b、10c、10d内を伝搬し、それぞれ所定の位置で反射してチャープトグレーティングファイバ内を逆方向へ伝搬し、WDMフィルタ9に戻って合波され、信号光16bのように伝搬し、WDMフィルタ3で信号光16aと共に合波され、信号光65のように伝搬し、分散補償ファイバ2を通過した後、光サーキュレータ3のポート②からポート③を通して出力光伝送路12へ信号光18として出力される。

【0036】以上のように、図6の超広帯域波長分散補償デバイスは、入力光伝送路1を波長多重された信号光13が伝搬することによって生じた波長分散は、まず、分散補償ファイバ2内を光信号光62が通ることによって概略の分散値を補償し、残りの分散値は、WDMフィルタ3からの信号光65を逆方向から分散補償ファイバ2に伝搬させるときに補償している。なお、分散補償ファイバ2での分散補償量は小さくし、チャープトグレーティングファイバ8a～10dでの分散補償量を大きくするように構成し、信号光の分散補償ファイバ2での減衰を小さくすれば、長距離伝送に対応することができる。したがって、分散補償ファイバ2での分散補償量は、図1～図6の場合、少ない方がより効果的であり、その分だけそれぞれのチャープトグレーティングファイバで大きな分散補償量を持たせるようにした方がよい。なお、分散補償ファイバ2を設けず、それぞれのチャープトグレーティングファイバでのみ波長分散補償を行なってもよい。このようにすれば、より低損失の波長分散補償が行なえることになり、より長距離伝送を実現することができる。

【0037】図7は本発明に係る超広帯域波長分散補償デバイスの第7の実施の形態を示す。本実施の形態は、図6の構成に増幅機能を付加したところに特徴がある。すなわち、光サーキュレータ61のポート③と出力光伝送路12の間にEr添加光ファイバ71、及び光アイソレータ72を直列に挿入するほか、Er添加光ファイバ71の両側にWDMカプラ73、74を結合させ、それぞれに励起光源75、76を接続した構成にしている。他の構成は図6に示した通りである。

【0038】信号光13が光サーキュレータ61のポート①→光サーキュレータ61のポート②→分散補償ファイバ2→WDMフィルタ3→WDMフィルタ7、9→WDMフィルタ3→分散補償ファイバ2→光サーキュレータ61のポート③に至るまでの動作は図6と同じであるので、ここでは説明を省略する。波長分散補償された光



サーキュレータ61のポート③からの信号光63をEr添加光ファイバ71に伝搬させ、それと共に励起光源75, 76からの励起光をWDMカプラ73, 74を通してEr添加光ファイバ71内に伝搬させる。これにより、Er添加光ファイバ71を通過する信号光63は数千倍から10,000倍に増幅され、光アイソレータ72を通過して出力光伝送路12へ信号光18として出力される。

【0039】以上のように、図7の超広帯域波長分散補償デバイスによれば、波長分散補償機能と増幅機能を備えたデバイスが、簡単な構成、少ない光部品点数、及び光損失の少ない伝送系により実現することができる。なお、信号光13から信号光18までの波長分散補償もそれぞれのチャープトグレーティングファイバ8a~10dで分担する構成にしてもよいことは言うまでもない。

【0040】図8は図7の変形例を示す。本例は図7の構成にゲインイコライザの機能を付加したものである。すなわち、波長1.53μm帯(λ<sub>1</sub>)の信号光の増幅利得を抑えるために、チャープトグレーティングファイバ8aの途中に波長1.53μm帯の信号光を減衰させるための光フィルタ41(図4で用いたと同じフィルタ)を挿入した構成にしている。これにより、波長λ<sub>1</sub>からλ<sub>16</sub>までの信号光の増幅度を一様に保つことができる。

【0041】本発明は上記した各実施の形態の構成に限定されるものではない。まず、チャープトグレーティングファイバ8a~10dの代わりに、導波路型のチャープトグレーティングフィルタを用いてもよい。また、WDMフィルタ3, 7, 9, 11は、導波路型、干渉膜フィルタ型、ファイバグレーティング型のいずれを用いてもよい。波長多重された信号光は、8, 20, 32, 64, 100, ...などのチャンネル数を用いることができる。したがって、WDMフィルタ7, 9での合波数は、上記チャンネル数に応じて、4, 8, 20, 32, 50, ...等のように増える。ただし、WDMフィルタ7, 9の出力端数は必ずしも上記チャンネル数の半分である必要はなく、それぞれのチャープトグレーティングファイバ内へ伝搬させるチャンネル数を増やすことによって対応させることができる。例えば、波長多重数が32チャンネルの場合、図1の構成でそれぞれのチャープトグレーティングファイバ8a~10d内に伝搬させるチャンネル数を4チャンネルづつにすればよい。入力光伝送路1に波長1.53μm帯で零分散波長を有する分散シフトファイバを用い、数十Km以上の距離を伝搬させる場合には、図1~図8に使用している分散補償ファイバ2は用いなくともよい。

【0042】

【発明の効果】以上説明した通り、本発明の超広帯域波長分散補償・増幅デバイスによれば、入力光伝送路からの信号光を光分波器で複数の波長領域に分波し、複数の

光合分波器で前記分波した前記複数の波長領域を所定数の波長帯に分波すると共に該分波した波長帯の信号光を波長分散補償した後の信号光を合波して出力側へ送出し、複数のチャープトグレーティングファイバを用いて前記光合分波器によって分波した各波長帯の信号光を個別に伝搬させ、その信号光が所定の位置から反射してくる過程で波長分散補償が施された各信号光を前記光合分波器へ送出して合波させるようにしたので、具体的に以下に示す効果が得られる。

(1) 波長1.53μm~1.61μmを用いてシングルモードファイバ或いは分散シフトファイバを数十Km以上にわたって波長多重伝送する際に生じる波長分散を補償することができる。

(2) 光部品点数が少なく、低損失で不要な特性烈火要因が少なくなり、長距離、大容量、高速伝送が可能になり、これらを低コストに達成することができる。

(3) それぞれの波長毎に精密な分散補償が行なえるので、高品質の伝送が可能になる。

(4) 超広帯域にわたって多くの波長多重された信号光の波長分散補償と、それらの信号光の増幅が一体化された簡易な構成にできるので、より高性能で低コストな通信システムを構築することができる。

(5) それぞれのチャープトグレーティングファイバの波長分散補償は、1波長または数波長の信号光に対してであるため、小形化、低コスト化、量産化が可能なチャープトグレーティングファイバの使用が可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る超広帯域波長分散補償デバイスの第1の実施の形態を示す接続図である。

【図2】本発明に係る超広帯域波長分散補償デバイスの第2の実施の形態を示す接続図である。

【図3】本発明に係る超広帯域波長分散補償デバイスの第3の実施の形態を示す接続図である。

【図4】本発明に係る超広帯域波長分散補償デバイスの第4の実施の形態を示す接続図である。

【図5】本発明に係る超広帯域波長分散補償デバイスの第5の実施の形態を示す接続図である。

【図6】本発明に係る超広帯域波長分散補償デバイスの第6の実施の形態を示す接続図である。

【図7】本発明に係る超広帯域波長分散補償デバイスの第7の実施の形態を示す接続図である。

【図8】図7の変形例を示す接続図である。

【図9】図9は分散状態と伝搬距離の関係を示す説明図である。

【図10】従来の波長分散補償デバイスの第1例を示す接続図である。

【図11】従来の波長分散補償デバイスの第2例を示す接続図である。

【図12】従来の波長分散補償デバイスの第3例を示す接続図である。

## 【符号の説明】

- 1 入力光伝送路  
 2 分散補償ファイバ  
 3, 7, 9, 11 WDMフィルタ  
 5, 6, 21, 61 光サーキュレータ  
 8a, 8b, 8c, 8d チャープトグレーティングフ  
 ァイバ  
 8e, 8f, 8g, 8h チャープトグレーティングフ  
 ファイバ  
 10a, 10b, 10c, 10d チャープトグレーテ 10

ィングファイバ

10e, 10f, 10g, 10h チャープトグレーテ

ィングファイバ

12 出力光伝送路

20, 72 光アイソレータ

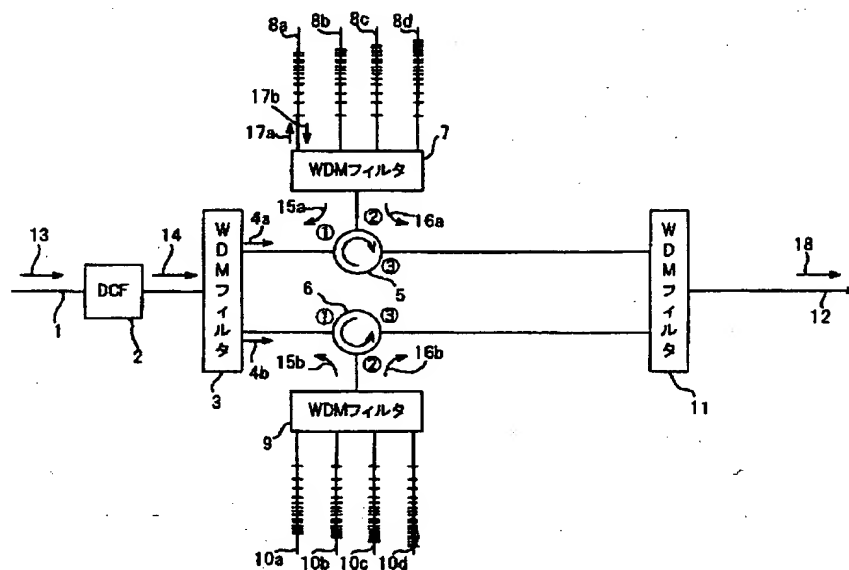
31, 32, 71 E<sub>r</sub> 添加光ファイバ

33, 34, 35, 73, 74 WDMカプラ

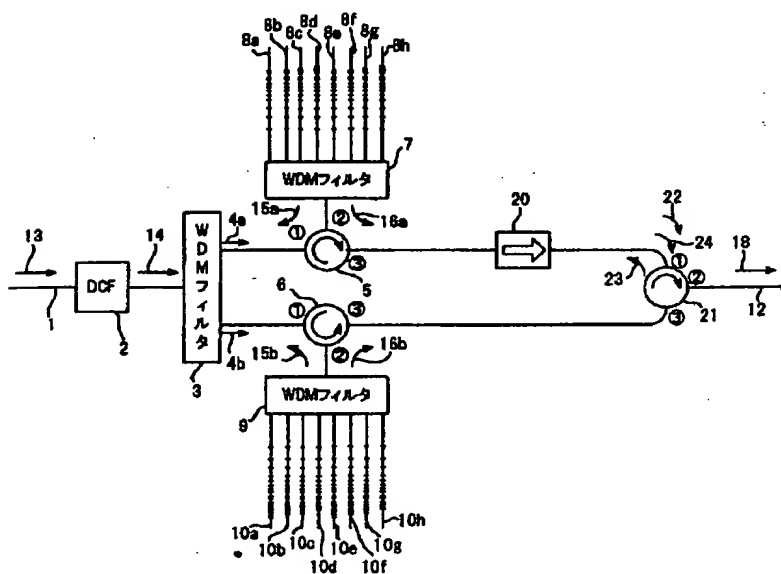
36, 37, 38, 75, 76 励起光源

41 光フィルタ

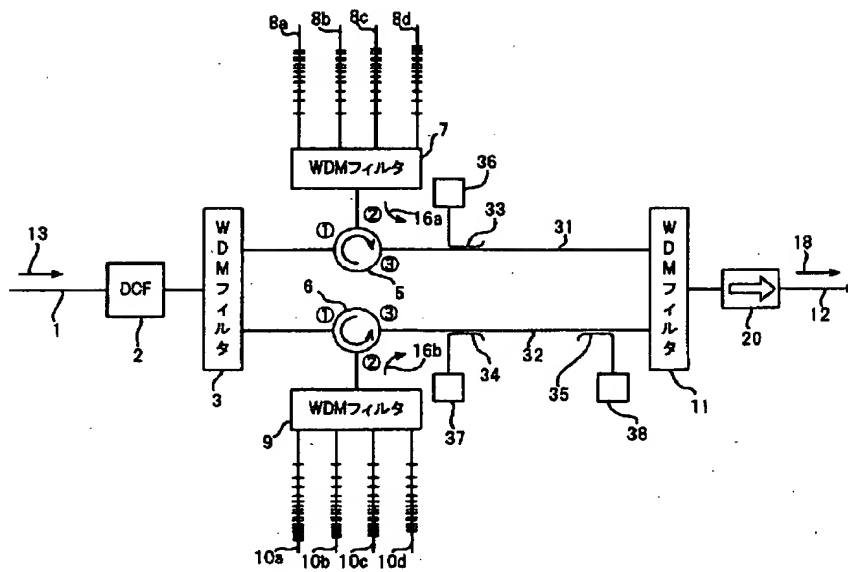
【図1】



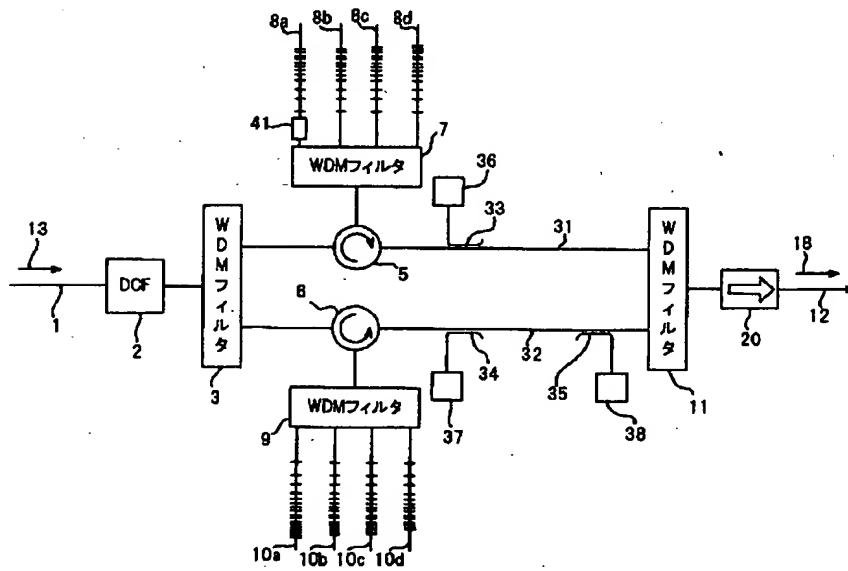
【図2】



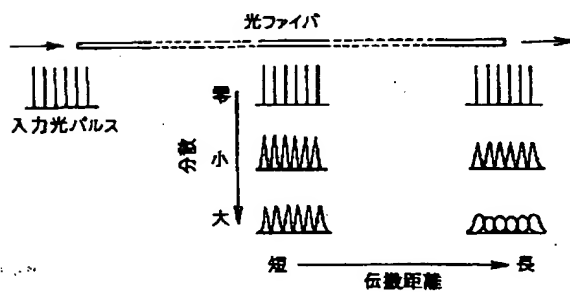
【図 3】



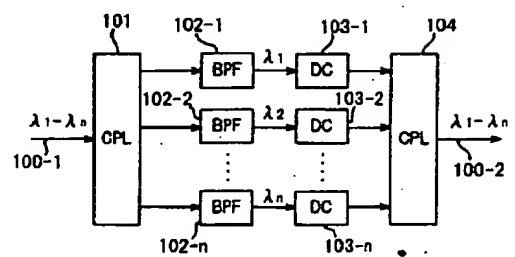
【図 4】



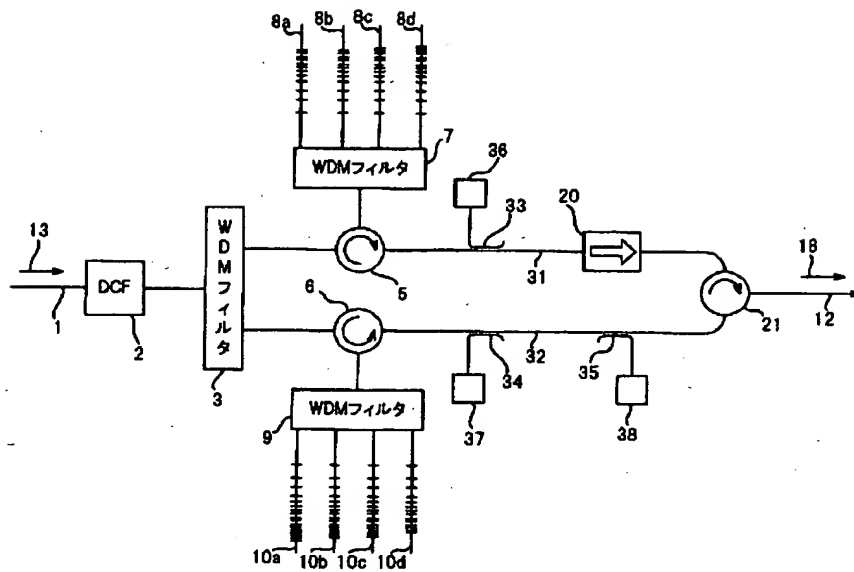
【図 9】



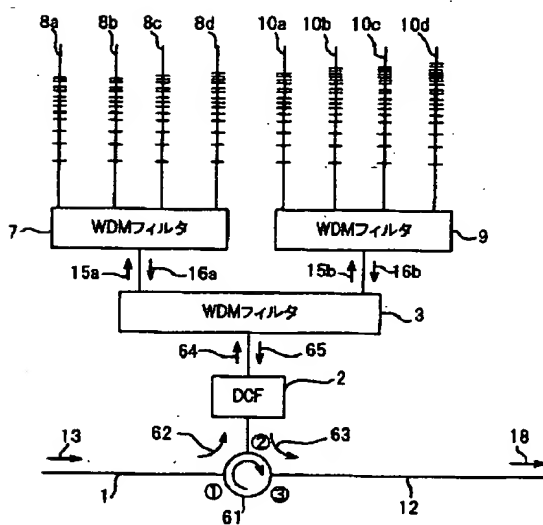
【図 10】



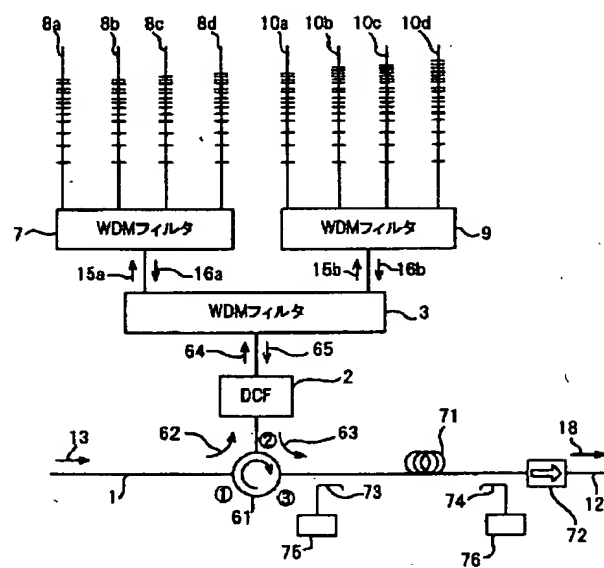
【図5】



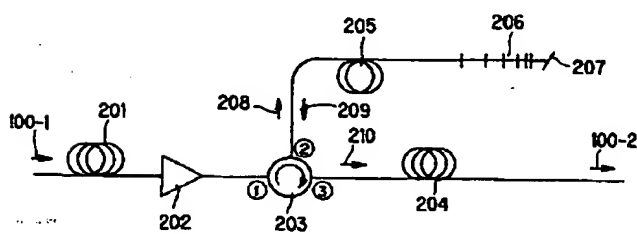
【図6】



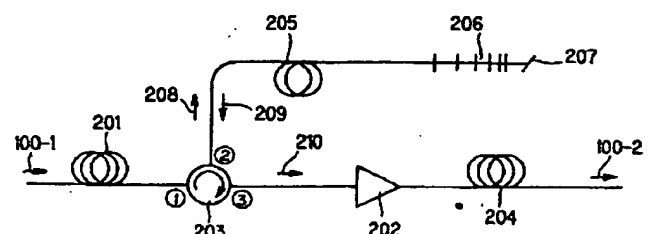
【図7】



【図11】



【図12】



【図8】

